

Wahrnehmung der Mathematisierung im Physikunterricht der Sekundarstufe 1

Gesche Pospiech, Erik Oese

TU Dresden, gesche.pospiech@tu-dresden.de und erikoese@web.de

Kurzfassung

Die Nutzung mathematischer Strukturen und Werkzeuge, welche unter dem Begriff der Mathematisierung (der Physik) zusammengefasst werden, ist ein zentraler Wesenszug der Physik. Daher ist neben dem Erkenntnisgewinn durch Experimente auch die Mathematisierung ein wichtiger Aspekt bei der Vermittlung der Physik als empirischer Naturwissenschaft. Dies ist nicht nur Aufgabe des Physikunterrichts in der gymnasialen Oberstufe, sondern des Physikunterrichts von Anfang an. Traditionell wird angenommen, dass die Schüler der Anwendung von Formeln im Physikunterricht mit Abneigung gegenüber stehen. Jüngere Untersuchungen zeichnen aber ein differenzierteres Bild. Um dieses komplexe Gebiet genauer zu erfassen, wurde eine explorative Studie mit Schülern der Klassenstufe 8 durchgeführt, in der in Sachsen bereits zahlreiche mathematische Elemente, sowohl Formeln als auch grafische Darstellungen und Funktionen, eingesetzt werden. Hierzu wurde ein Fragebogen zu Einstellungen gegenüber verschiedenen Formen der Mathematisierung, ihrem Verhältnis zur verbalen Darstellung und ein Wissenstest durchgeführt. Ergänzt wurde die Fragebogenerhebung durch Interviews.

1. Rolle der Mathematik in Physik und Physikunterricht

Die Nutzung mathematischer Strukturen und Werkzeuge, die hier unter dem Begriff der Mathematisierung (der Physik) zusammengefasst werden, ist neben der experimentellen Methode ein zentraler Wesenszug der Physik [2]. Weil die Wissenschaft schon aus historischer Perspektive Physik untrennbar mit der Mathematik verbunden ist, ist ein Verständnis der Verwendung mathematischer Elemente zentral für eine physikalische Grundbildung. In der Vermittlung von Physik macht die Verbindung von Experimentieren, Auswertung von Experimenten und mathematischer und modellhafter Beschreibung der Natur die Physik als eine empirische Naturwissenschaft, die die Welt mit Hilfe mathematischer Strukturen beschreibt, erfahrbar. Für einen bedeutsamen Unterricht, auch über das Wesen der Physik ('nature of science'), und eine tiefere Einsicht in die physikalische Methodik ist ein systematischer Unterricht zur Verwendung der Mathematik in der Physik notwendig. Der Einsatz der Mathematik ist für den Physikunterricht der Sekundarstufe 2 unbestritten:

„Die Schülerinnen und Schüler erkennen die Physik als theoriegeleitete Erfahrungswissenschaft. Dabei besitzen das Formalisieren und das Mathematisieren physikalischer Sachverhalte einen hohen Stellenwert. Hierdurch wird ein wichtiger Beitrag zur Entwicklung abstrakten und funktionalen Denkens geleistet.“ [1, S. 10]

Jedoch beginnt die Mathematisierung im Physikunterricht bereits viel früher, mit Auswertungen von Experimenten und den ersten einfachen Gesetzen.

Die Mathematisierung, wie sie hier verstanden wird, umfasst explizit nicht nur den Gebrauch algebraischer Strukturen wie Formeln und Gleichungen, sondern auch die Verwendung geometrischer Objekte oder graphischer Verfahren wie Diagramme oder Funktionsgrafiken zur Repräsentation, Auswertung und Modellierung physikalischer Sachverhalte. Hier werden eher Vorbehalte geäußert:

„Die theoretischen Erklärungskonzepte der Physik machen manchen Schülerinnen und Schülern Schwierigkeiten, da deren konkrete Anwendung häufig mathematisches Verständnis und arithmetische und algebraische Kenntnisse verlangen.“ [6, S. 32]

Durch die Einführung und Nutzung mathematischer Elemente bilden sich von Anfang an Einstellungen, Gewohnheiten und Routinen aus, die im Laufe des Physikunterrichts weiter wirken. In diesem Zusammenhang ist die Reduktion der Mathematisierung auf das rezeptmäßige Abarbeiten von Rechen- und Sachaufgaben zu Recht kritisiert, vielmehr steht die Begriffs- und Verständnisorientierung im Vordergrund. Hierzu hat Pietrocola [5] zwei verschiedene Aspekte der Rolle der Mathematik in der Physik herausgearbeitet: den technischen Aspekt und den strukturellen Aspekt. Karam & Pietrocola [3] betonen, dass vor allem der strukturelle Aspekt zentral für das Verstehen der Interdependenz von Mathematik und Physik sei. Ein von Uhden et al [13] abgeleitetes Modell verdeutlicht die Verortung der strukturellen und der technischen Rolle der Mathematik im Lehr-Lernprozess und die Bedeutung dieser Unterscheidung für die Gestaltung didaktischer Sequenzen. Jedoch spielen auch

affektive Einstellungen der Schüler für das Lernen eine erhebliche Rolle.

2. Empirische Resultate

Während die Forschung sich bislang der Verwendung der Mathematik in der gymnasialen Oberstufe zugewandt hat [s. z.B. 9, 11], ist wenig über die Vorstufen in der Sekundarstufe 1 bekannt. Aussagen zur Mathematisierung und deren Akzeptanz beruhen überwiegend auf subjektiven Eindrücken, aber seltener auf systematischer Forschung. Außerdem fokussieren sie häufig auf die Verwendung von Formeln. So ist die Beziehung von Formeln und Diagrammen für die Entwicklung eines Verständnisses der Physik bislang nicht systematisch untersucht worden. Insbesondere ist empirisch ungeklärt, wie weit die Verwendung dieser mathematischen Elemente auch das Verständnis physikalischer Konzepte unterstützen kann. In [8] wurden hierzu theoretische Vorüberlegungen dargelegt. Neben diesen überwiegend theoretischen Arbeiten liegen mittlerweile erste empirische Befunde, beispielsweise zum Formelverständnis von Schülern vor. Es zeigt sich, dass es bevorzugte Schreibweisen gibt, [10]. Dabei stellte sich heraus, dass Schülerinnen und Schüler Formeln im Physikunterricht nicht als das schwierigste und abschreckendste Element ansehen. Es ist sogar so, dass die Einstellung Formeln gegenüber eher positiv ist. Ferner gelten Formeln als charakteristisch für die Physik und dienen auch als Werkzeuge und Kommunikationsmittel, [4]. Offen bleiben aber die subjektiven Einstellungen der Schüler, die sich bereits von Beginn des Physikunterrichts an herausbilden.

In den Erhebungen von Krey zeigt sich eine kontinuierliche Entwicklung der Bevorzugung mathematisch konnotierter Tätigkeiten von einfachen routinemäßigen Tätigkeiten hin zu zunehmend anspruchsvolleren Aktivitäten mit zunehmenden Lernfortschritt in der Physik, [5]. Die gefundene Entwicklung, die sich zumindest teilweise auch mit einem intensiveren Umgang mit mathematischen Elementen erklären lässt, führt zu der Frage, wie weit eine relativ frühe Hinführung von Schülern und Schülerinnen zur Verwendung der Mathematik in der Physik und im Physikunterricht - aussehen kann und welche Wirkung sie haben wird.

3. Beschreibung der Studie

Die zumeist globalen Aussagen bedürfen einer detaillierten Analyse auf der Ebene einzelner Schüler. Uden wies spezifische Probleme bei der Lösung mathematisch-physikalischer Aufgaben vor allem in struktureller Hinsicht nach, [12]. Um mögliche Faktoren in der Entstehung dieser Problem zu verfolgen, sollten in einer Untersuchung in der Klassenstufe 8 sowohl subjektive Einstellungen von Schülern zu Beginn einer intensiveren Mathematisierung im Physikunterricht als auch Aspekte ihres

Wissens untersucht werden. Dabei wurde vor allem die Wahrnehmung von Formeln als zentralem Element der Mathematisierung, der allgemeine Umgang mit Formeln, die Rolle von Diagrammen sowie deren wechselseitige Beziehung zueinander und zu verbalen Erläuterungen aus Sicht der Schüler untersucht. Die Klassenstufe 8 wurde gewählt, weil der sächsische Lehrplan hier den intensiven Einsatz von Formeln und Diagrammen in fast allen Lernbereichen (Druck, Elektrizität, Wärmelehre) vorsieht. Damit verfügen die Schüler bereits über eine relativ reiche Erfahrung mit verschiedenen mathematischen Elementen, befinden sich aber noch am Anfang ihrer zunehmenden und intensiveren Nutzung. Daher wurde die Untersuchung gegen Ende des Schuljahres durchgeführt.

3.1 Methodik der Studie

Zur Erfassung der Einstellungen und des Wissens wurden qualitative und quantitative Instrumente eingesetzt. In einem Fragebogen wurde die Einstellung zur Physik und zum Physikunterricht erhoben und nach der eigenen Bewertung des Zusammenspiels von Formeln, Diagrammen und Erläuterungen gefragt. Vor allem wurde auch nach einer Gewichtung dieser Elemente gefragt. In einem Wissenstest wurden Aufgaben zur Erläuterung von Formeln, der Verwendung von Einheiten, der Herleitung von Formeln sowie der Interpretation von Diagrammen und ihrem Zusammenhang mit Formeln gefragt. Die Fragebogenerhebung wurde ergänzt durch halbstrukturierte Interviews von ca 1/2 Stunde Dauer. Hier wurden im Fragebogen erhobene Aspekte detailliert nachgefragt und vor allem auf die Bedeutung von Formeln Diagrammen und Erläuterungen sowie deren Verknüpfung untereinander für ein Verständnis von Physik abgehoben. Im folgenden werden die Ergebnisse des Fragebogens vorgestellt.

3.2 Der Fragebogen

Der Fragebogen umfasste 47 Items mit einer 6-stufigen Antwortskala, von denen 3 ausgeschlossen werden mussten. Die Fragen ließen sich explorativ in vier Faktoren zusammenfassen:

Faktor 1: Sinnhaftigkeit und Nutzen von Formeln

Faktor 2: Formaler und kalkülorientierter Umgang mit Formeln

Faktor 3: Umgang mit Diagrammen

Faktor 4: Einstellung zum Physikunterricht

Die Faktoren sind in Tabelle 1 näher beschrieben. Sie wurden in einer explorativen Faktorenanalyse extrahiert. Dabei zeigt sich eine Unterscheidung von „Sinnhaftigkeit und Nutzen der Formeln“ – dem strukturellen Aspekt der Mathematik in der Physik - und dem technischen Aspekt - „Formaler und kalkülorientierter Umgang mit Formeln“. Bei Diagrammen zeigte sich diese Unterscheidung nicht in dem gleichen Maße, so dass die zugehörigen

Items einen sehr ausgeprägten und stabilen eigenen Faktor bilden.

4. Resultate

An der Studie nahmen insgesamt 192 Schüler und Schülerinnen (88 männlich, 104 weiblich) aus 10 Klassen mit 6 Lehrerinnen und 2 Lehrern an sächsischen Gymnasien teil. 9 Schülerinnen und 11 Schüler meldeten sich freiwillig zum Interview. Dabei handelte es sich um Physik gegenüber positiv und negativ eingestellte Schüler mit verschiedenen Fächer – Profilen.

| | Items | Cronbach α | Mittelwert | Standardabweichung |
|----------------------------|-------|-------------------|------------|--------------------|
| Faktor 1: Formeln | 13 | 0,93 | 3,74 | 0,98 |
| Faktor 2: Rechnen | 14 | 0,88 | 4,00 | 0,82 |
| Faktor 3: Diagramme | 10 | 0,90 | 3,87 | 0,88 |
| Faktor 4: Physikunterricht | 7 | 0,84 | 2,91 | 1,10 |

Tab. 1: Reliabilität der Faktoren. Auf der 6-stufigen Antwortskala bedeuten hohe Werte eine positive Einstellung gegenüber Formeln, deren Verwendung, Diagrammen etc.

Es ist aus Tabelle 1 erkennbar, dass weder Boden- noch Deckeneffekte in der Befragung aufgetreten sind. Es fällt jedoch auf, dass der Mittelwert im Faktor 4 (allgemeine Einstellung gegenüber dem Physikunterricht) deutlich geringer ist, als die Mittelwerte der anderen Faktoren, die sich auf die mathematischen Elemente beziehen.

Es zeigt sich, dass Schüler mit guten Noten der Verwendung mathematischer Elemente signifikant positiver gegenüberstanden als Schüler mit schwächeren Noten ($p = 0,001$). Geringer ist der Zusammenhang beim „Umgang mit Diagrammen“ ($p = 0,02$), den Schüler durchweg relativ positiv beurteilen.

Betrachtet man einzelne Klassen, so fällt auf, dass die allgemeine Einstellung zum Physikunterricht hoch signifikant von der Klasse ($p = .000$) abhing, die Einstellung zum formalen Umgang mit Formeln hingegen unabhängig von der Klasse ($p > 0,05$) zu sein scheint. Der Umgang mit Diagrammen zeigt nur schwach signifikante Unterschiede ($p=0,023$),

Eine Frage betrifft unterschiedliche Einstellungen zwischen Mädchen und Jungen. In Bezug auf den Physikunterricht im allgemeinen erkennt man einen signifikanten Unterschied ($p=0,007$). Hierbei zeigt sich interessanterweise, dass die Einstellung gegenüber dem „Umgang mit Diagrammen“ unabhängig vom Geschlecht ($p > 0,05$) ist. In Bezug auf Formeln

ist die Abhängigkeit vom Geschlecht besonders ausgeprägt ($p = .000$).

Auf Grund der Daten lassen sich verschiedene Schülergruppen identifizieren: Es zeigt sich eine Gruppe mit durchweg hohen Zustimmungswerten zu allen Formen der Mathematisierung und zum Physikunterricht im allgemeinen (ca 20% der Schüler), eine Gruppe mit insgesamt eher negativer Einstellung (26%), eine eher formelaffine Gruppe, die erstaunlicher Weise auch eine eher negative Einstellung zum Physikunterricht insgesamt hat (18%) und eine diagrammaffine Gruppe (35%) (s.a. Abbildung 1).

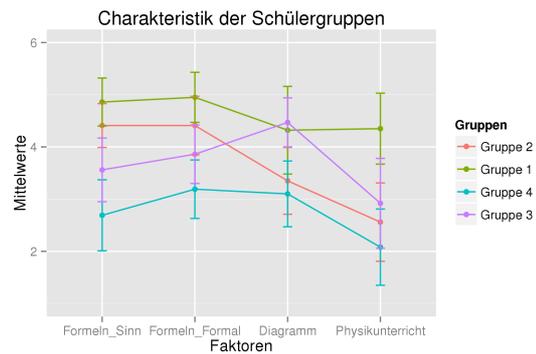


Abb. 1: Die Einstellung der verschiedenen Gruppen mit Bezug zu den einzelnen Faktoren (Hohe Werte bedeuten hohe Zustimmung zu positiven Aussagen; 1 bedeutet starke Ablehnung, 6 sehr hohe Zustimmung)

Auch hier zeigt sich eine signifikant geschlechtsabhängige Verteilung der Schüler zu den einzelnen Schülergruppen. Ein Drittel der Schülerinnen gehört zu der negativ eingestellten Gruppe, aber eine ebenso große Anzahl zu der diagrammaffinen Gruppe. Das letzte Drittel der Schülerinnen gehört zu der formelaffinen oder durchweg positiv eingestellten Gruppe. Ungefähr die Hälfte der Jungen gehört zu diesen beiden Gruppen, ein Drittel zu der diagrammaffinen Gruppe und die übrigen zu der negativ eingestellten Gruppe, (s.a. Abb. 2).

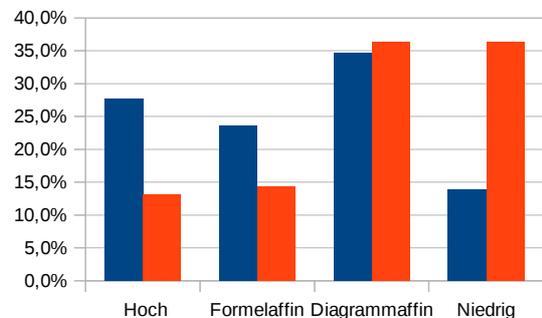


Abb. 2: Anteil von Mädchen und Jungen in der jeweiligen Gruppe. (blau: Jungen, rot: Mädchen)

In den Interviews konnten Problemfelder im Umgang mit Formeln genauer identifiziert werden. Besonders die Verwendung von Buchstaben bedarf großer Sorgfalt: Das Rechnen mit ihnen ist ungewohnt und oft werden Buchstaben in verschiedenen Bedeutungen verwendet. Ähnliches gilt für Einheiten. Die Umrechnung bereitet Probleme und es gibt (zu) viele Einheiten. Ferner werden vor allem Terme mit Bruchstrichen als kompliziert empfunden. Andererseits werden auch Vorteile von Formeln gesehen: sie seien kürzer und übersichtlicher als verbale Erläuterungen und vor allem auch präziser und eindeutiger. Nicht zu vernachlässigen ist der Aspekt der Leistungsbewertung, bei dem die Eindeutigkeit auch Vorteile zu haben scheint. Manchen macht es auch Spaß, Formeln umzustellen. In Bezug auf Diagramme bereitet der „passive“ Umgang, das Ablesen und Interpretieren keine Problem, wohl aber das selbstständige Erstellen, vor allem in Bezug auf eine geeignete Skaleneinteilung und Achsenauswahl. Diagramme werden insgesamt als anschaulich, deutlich und hilfreich wahrgenommen.

5. Ausblick

Bei der Mathematisierung im Unterricht zeigen sich einige Spezifika. Die Betonung des strukturellen Umgangs mit Formeln scheint v.a. auch Schülerinnen mehr zu liegen als der rein formale Umgang. Eine Nutzung von Diagrammen als wichtiges Element der Mathematisierung würde allen Schülern gleichermaßen entgegen kommen. Daher sollte die Mathematisierung systematisch mit Hilfe von graphischen Elementen oder Diagrammen unterstützt werden. Als noch offene Frage ist zu klären, inwieweit unterrichtliche Faktoren ein Rolle spielen.

6. Literatur

- [1] Freie und Hansestadt Hamburg Behörde für Schule und Berufsbildung B (2009): Bildungsplan Physik Gymnasiale Oberstufe: <http://www.hamburg.de/contentblob/1475224/data/physik-gyo.pdf> (Stand 5/2013)
- [2] Gingras, Yves. (2001): What did mathematics do to physics? *History of Science* 39:383–416.
- [3] Karam, Ricardo; Pietrocola, Mauricio. (2010): Recognizing the Structural Role of Mathematics in Physical Thought. In: M. F. Tasar & G. Çakmakci (Eds.). *Contemporary science education research: International perspectives*, S. 65-76. Ankara: Pegem Akademi.
- [4] Krey, Olaf. (2012): Die Rolle der Mathematik in der Physik. Berlin:Logos Verlag.
- [5] Krey, Olaf; Mikelskis, Hellmuth. F. (2010): The role of mathematics in physics - the students' point of view. In: M. F. Tasar & G. Çakmakci (Eds.). *Contemporary science education research: International perspectives*, Bd. 4, 67-72. Pegem Akademi.
- [6] Ministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Kultur des Landes Schleswig-Holstein (2002): Lehrplan Physik Sekundarstufe II: <http://lehrplan.lernnetz.de> (5/2013)
- [7] Pietrocola, Mauricio. (2008): Mathematics as structural language of physical thought. In: Vicentini, M. & Sassi, E. (Hrsg.), *Connecting Research in Physics Education with Teacher Education*, Bd. 2.
- [8] Pospiech, Gesche. (2006). Modellierung und mathematische Kompetenz im Physikunterricht. Frühjahrstagung des Fachverbandes Didaktik der Physik in der DPG, Kassel 2006, CD
- [9] Schoppmeier, Friedrich; Borowski, Andreas; Fischer, Hans. (2011): Mathematisierungsbereiche und ihre Rolle in Leistungskursklausuren. In: Höttecke, D. (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Bildung als Beitrag zur Gestaltung partizipativer Demokratie*, Jahrestagung der Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik Potsdam 2010, S. 170-172. Berlin:LIT
- [10] Strahl, Alexander; Mohr, Matthias; Schleusner, Ulf; Müller, Rainer. (2010): Wie Schüler Formeln gliedern – eine explorative Befragung. *Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 9, 1, 18-24
- [11] Trump, Stefanie; Borowski, Andreas. (2013). Notwendige Mathematik in der Physik (Sek II). In S. Bernholt (Hrsg.), *Inquiry-based Learning - Forschendes Lernen*. GDCP, Jahrestagung in Hannover 2012, 590 - 592. Kiel: IPN.
- [12] Uhden, Olaf. (2012): *Mathematisches Denken im Physikunterricht*. Berlin:Logos Verlag.
- [13] Uhden, Olaf; Karam, Ricardo; Pietrocola, Mauricio; Pospiech, Gesche. (2011): Modelling mathematical reasoning in physics education. *Science & Education*, 21, 4, 485-506